

PRAVIDELNÉ VARIACE ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ NA VYBRANÝCH STANICÍCH V LETECH 2003-2006

Jaroslav Střeščík

Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha

V minulých desetiletích bylo mnoho úsilí věnováno zkoumání vlivů různých meteorologických veličin, jako je teplota a vlhkost vzduchu, změny tlaku vzduchu, rychlost větru, přechody front, extrémní hodnoty všech parametrů a mnoho jiných, na nemocnost, úmrtnost a jiné jevy v biosféře. Velmi pěkně jsou tyto vztahy shrnuty v knize Marktl, Machalek [1], i když jsou již staršího data. Jsou seřazeny podle jednotlivých onemocnění, vždy s popisem případných meteorologických vlivů na příslušné choroby. Nejsou tam však uváděny informace o vlivu znečištění ovzduší, přestože tento parametr má jistě významný vliv na všechny biologické děje na Zemi. Také v novějších pracích tento faktor často chybí [2,3]. Důvodem byl nedostatek vhodných dat ve vzdálenější minulosti, kdy se množství škodlivin v ovzduší buďto neměřilo vůbec, nebo naměřené hodnoty nebyly běžně k dispozici. Proto je v dnešní době málo zkušeností s používáním těchto parametrů a pro nezkušené snad i poněkud málo přehledné zdroje dat. V tomto příspěvku se pokusíme podat přehled z hlediska uživatele, jaké naměřené veličiny jsou k dispozici a kde, z jakých lokalit a za jaké období, a s jakými zákonitostmi se můžeme setkat.

Existuje kolem dvaceti škodlivých látek, které se mohou vyskytovat v ovzduší a jejichž koncentrace se soustavně měří na desítkách stanic v ČR. Avšak na žádné z těchto stanic se neměří všechny škodliviny. Na ukázkou je v Tab. 1 uveden přehled měření 15 různých škodlivin v ovzduší na 23 stanicích na území Prahy v roce 2006. V posledním sloupci tabulky (N) je uvedeno, na kolika místech v Praze se příslušná škodlivina měří. Největší počet stanic sleduje koncentraci dvou

nejvýznamnějších látek – oxidu síry SO_2 a oxidů dusíku souhrnně označovaných NO_x , přičemž obvykle se současně měří také samostatně oxid dusnatý NO a dusičitý NO_2 , dále pak suspendované částice frakce PM_{10} . Poněkud méně je zastoupeno měření oxidu uhelnatého CO , ostatní látky jsou měřeny jen na malém počtu stanic. Obdobný poměr mezi zastoupením měření jednotlivých škodlivin je i v ostatních krajích a v jiných letech. V tabulce není uveden sirovodík H_2S a některé organické sloučeniny, které se na území Prahy neměřily v roce 2006 vůbec. V posledním řádku tabulky je uvedeno, kolik různých škodlivin se měří na stanici uvedené v záhlaví sloupce. Nejvíce jich je sledováno na stanici v objektu ČHMÚ v Praze-Libuši. V krajích obecně považovaných za čisté (jižní Čechy) je měření mnohem méně. Naopak v průmyslové oblasti Ústeckého kraje je k dispozici více měření a to i takových látek, které se jinde neměří, zpravidla proto, že jejich koncentrace je mimo Ústecký kraj velmi nízká.

Naměřené hodnoty v nejrůznějších tabulkách lze najít na webových stránkách ČHMÚ [4]. Uživatel zde najde velké množství tabulek, grafů a popisů. Všechny údaje jsou uspořádány tak, že pro každý rok je uvedena samostatně velká skupina tabulek, grafů a textových souborů. Toto vše je k dispozici od roku 1997, přičemž počínaje rokem 2003 bylo uspořádání tabulek mírně změněno. Tabulky na stránkách ČHMÚ jsou zaměřené především na informaci o překročených limitech znečištění (kdy a kde) a na rozmístění více zamořených oblastí na území ČR, méně pak na časový průběh znečištění jednotlivými látkami na jedné a téže stanici. Bohužel u mnoha měření jsou časté krátkodobé

a někdy i delší výpadky, kromě toho se občas některé stanice zrušily a jiné nově zřídily, zvláště před rokem 2003. Proto není tak snadné najít vyhovující síť stanic,

z nichž jsou k dispozici soustavně měřené koncentrace vybrané škodliviny v průběhu několika let.

Tabulka 1. Přehled měření škodlivých látek v ovzduší na území hl. m. Prahy v roce 2006.

škodlivina	kód	MUZ	REP	RIE	LEG	LIB	BRA	SMI	SVO	STO	MLY	RER	SUC
oxid síry	SO2		+	+		+	+	+		+	+		+
oxidy dusíku	NOX		+	+	+	+	+	+		+	+		+
oxid dusnatý	NO		+	+	+	+	+	+		+	+		+
oxid dusičitý	NO2		+	+	+	+	+	+		+	+		+
oxid uhelnatý	CO	+	+		+	+		+			+	+	
sírany částice	SO4					+							
přízemní ozon	O3		+			+		+		+			+
benzen	BZN		+		+	+		+					
suma dusičnan. iontů	SNO3					+							
suma amonných iontů	SNH4					+							
etylbenzen	EBZN		+		+	+		+					
toluen	TLN		+		+	+		+					
částice frakce PM10	PM10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
částice frakce PM2,5	PM2,5					+		+			+		
prašný aerosol	SPM								+				
počet měřených látek	sum	2	10	5	8	14	5	11	2	6	7	2	6

škodlivina	kód	VEL	ALZ	KAR	KOB	SOK	VYN	JAS	PRU	SRO	VRS	UHR	N
oxid síry	SO2	+		+	+		+	+	+		+		15
oxidy dusíku	NOX	+		+	+		+		+		+		15
oxid dusnatý	NO	+		+	+		+		+		+		15
oxid dusičitý	NO2	+		+	+		+		+		+		15
oxid uhelnatý	CO		+			+	+	+		+		+	13
sírany částice	SO4												1
přízemní ozon	O3	+			+								7
benzen	BZN									+			5
suma dusičnan. iontů	SNO3												1
suma amonných iontů	SNH4												1
etylbenzen	EBZN									+			5
toluen	TLN									+			5
částice frakce PM10	PM10	+	+	+	+		+		+	+	+		20
částice frakce PM2,5	PM2,5			+			+						5
prašný aerosol	SPM					+		+				+	4
počet měřených látek	sum	6	2	6	6	2	7	3	5	5	5	2	

Seznam zkratk názvů stanic: MUZ = Národní muzeum, REP = Náměstí Republiky, RIE = Riegrovy sady, LEG = Legerova ul., LIB = Libuš, BRA = Bráník, SMI = Smíchov, SVO = ul. Svornosti, STO = Stodůlky, MLY = Mlýnářka, RER = Řeporyje, SUC = Suchdol, VEL = Velešlavín, ALZ = Alžírská ul., KAR = Karlín, KOB = Kobylisy, SOK = Sokolovská tř., VYN = Vysočany, JAS = Jasmínová ul., PRU = Průmyslová ul., SRO = Šrobárova ul., VRS = Vršovice, UHR = Uhřetěves, N = počet stanic, kde se daná škodlivina měří.

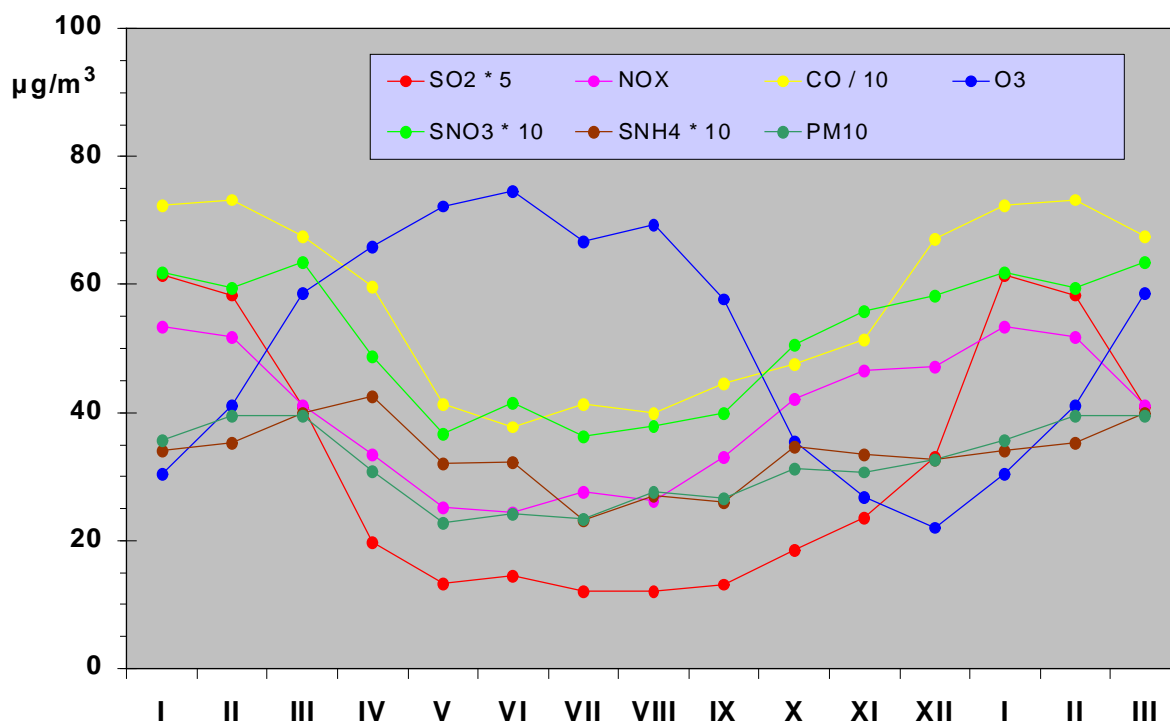
Tento příspěvek se bude dále skládat ze dvou částí. V první části se budeme věnovat sedmi nejvýznamnějším škodlivinám měřeným na stanici Praha-Libuš (nebudeme zde uvádět samostatně NO a NO₂), ve druhé části budeme sledovat dvě nejvýznamnější škodliviny (SO₂ a NO_x) měřené na deseti vybraných stanicích v České republice. Toto vše za období 2003-2006.

V Tab. 2 jsou uvedeny průměrné a maximální dosažené koncentrace škodli-

vin na stanici Praha-Libuš za celé období 2003-2006. Maximální naměřené hodnoty koncentrací mnohonásobně převyšují hodnoty průměrné. Tento poměr je u různých látek různý, někdy může být maximum i více než desetinásobek průměru. To naznačuje, že existují velké rozdíly mezi hodnotami v jednotlivých dnech. Dále že velmi vysoké hodnoty se vyskytují jen zřídka, při mimořádně nepříznivých podmínkách, jinak by průměr nemohl být tak nízký oproti maximálním hodnotám.

Tabulka 2. Průměrné a maximální koncentrace škodlivin na stanici Praha-Libuš v $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	SO ₂	NO _x	CO	O ₃	SNO ₃	SNH ₄	PM ₁₀
Průměr	5,5	37,5	530	51,8	5,3	3,4	31,2
Maximum	44,0	315,5	7818	127,1	28,1	15,6	199,3



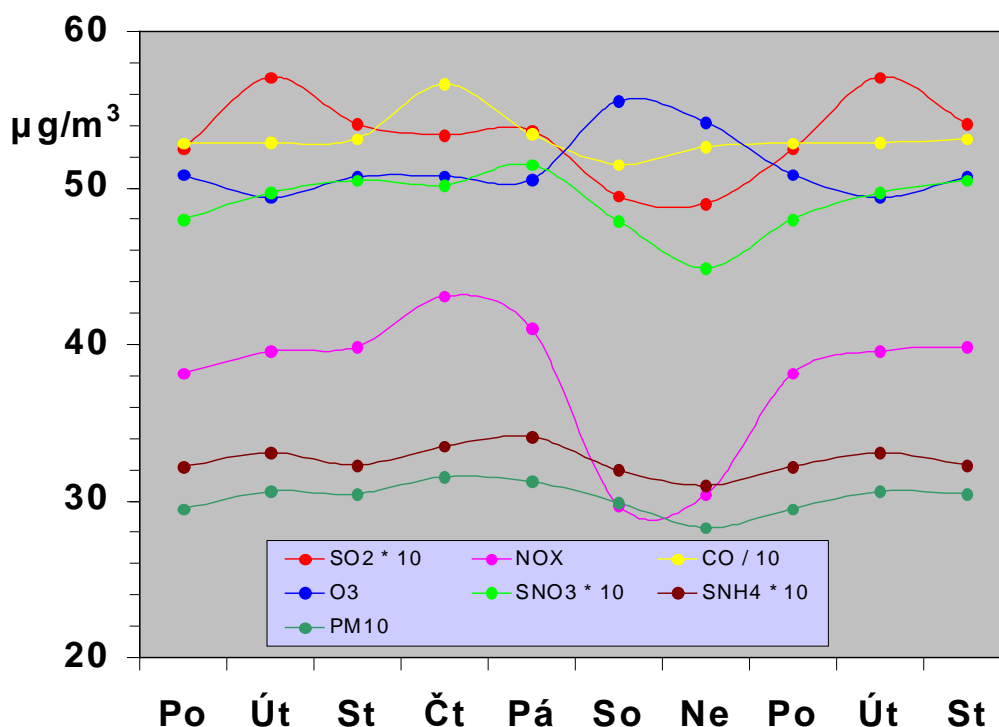
Obr. 1. Roční variace koncentrací nejvýznamnějších škodlivin na stanici Praha-Libuš za období 2003-2006.

Koncentrace škodlivin se velmi podstatně mění s roční dobou. Průměrný roční průběh koncentrace všech sledovaných látek je uveden na obr. 1. Číselné hodnoty koncentrací pro některé látky byly upraveny

(násobeny určitým koeficientem), aby mohly být zakreslené všechny do jednoho grafu (to je na obrázku uvedeno). Na vodorovné ose se vpravo opakují první tři měsíce roku, aby průběh v zimních měsících

nebyl roztržen na dvě části. Změna během roku je téměř pro všechny škodliviny prakticky shodná a názorně je vidět, jak je roční amplituda různá pro různé látky. Největší je pro SO₂, CO a NO_x. Výrazné maximum se obvykle vyskytuje v zimních měsících. To je dáno jednak zvýšenou produkcí těchto škodlivin v zimě (hlavně SO₂ vzhledem k větší spotřebě uhlí na topení), hlavně však značně zhoršenými rozptylovými podmínkami v témže období. Výjimkou je průběh koncentrace ozonu O₃, kde se naopak pozoruje maximum v červnu. To je způsobeno produkcí – maximum spadá do období nejdelších dnů (nikoliv nejvyšších teplot) a příčinou je tedy celkové množství slunečního záření. To platí obdobně o prosincovém minimu.

U koncentrací škodlivin v ovzduší pozorujeme také významnou týdenní variaci. Graficky je ukázána na obr. 2 pro všechny sledované látky. Také zde bylo třeba číselné hodnoty upravit vhodným faktorem, aby bylo možné zakreslit všechny křivky do jednoho grafu. Týdenní variace je opět pro různé látky různá. U některých je nápadný pokles koncentrace o víkendech, u jiných jsou rozdíly mezi pracovními dny a víkendem malé, a u ozonu je opět průběh zcela jiný. V porovnání s variací roční je týdenní variace celkově daleko slabší. Týdenní variace pro všechny látky je také skoro stejná v jednotlivých ročních obdobích a proto je neuvádíme zvlášť.



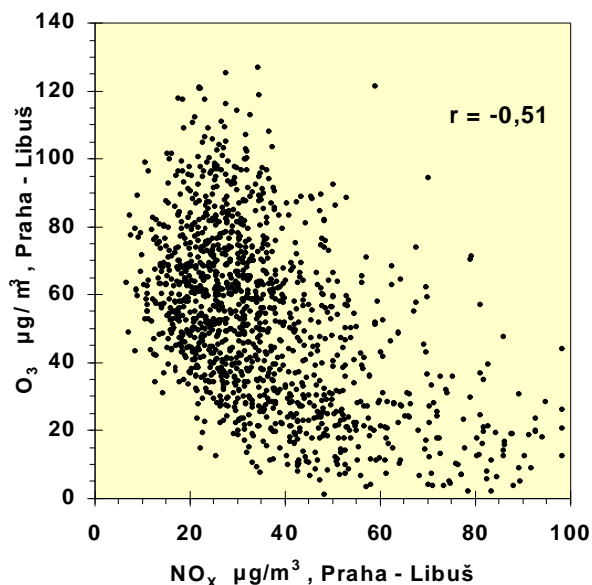
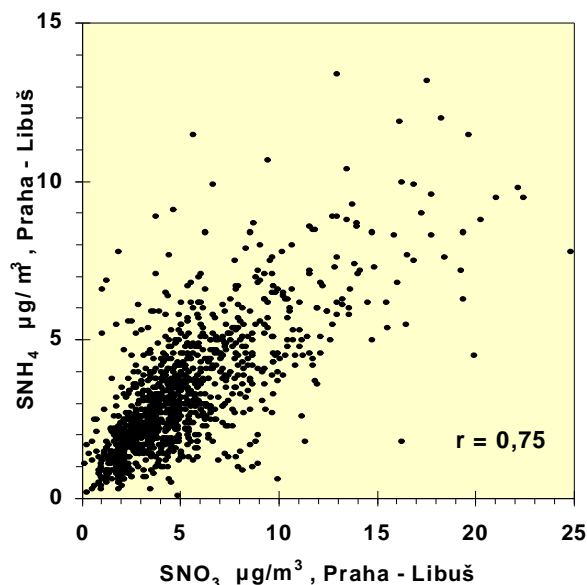
Obr. 2. Týdenní variace koncentrací nejvýznamnějších škodlivin na stanici Praha-Libuš za období 2003-2006.

Existují poměrně významné korelace mezi koncentracemi jednotlivých škodlivin v tentýž den. To znamená, že když je koncentrace jedné látky v ovzduší vyšší, tak pravděpodobně budou vyšší také koncentrace jiných látek. To je dáno rozptylovými podmínkami, které platí přibližně stejně

pro všechny škodliviny. Hodnoty korelačních koeficientů se pohybují mezi 0,3 a 0,7, nejvyšší je pro dvojici SNO₃ vs. SNH₄, kde dosahuje 0,75. Výjimkou je opět koncentrace ozonu, která se chová opačně: při vyšší koncentraci všech ostatních látek je koncentrace ozonu nižší

a naopak. Nejvyšších záporných hodnot je dosaženo u vztahu O₃ vs. NO_x, kde činí –

0,51. Na obr. 3 jsou uvedeny příklady vysoké kladné a vysoké záporné korelace.



Obr. 3. Ukázka korelací mezi denními hodnotami koncentrace SNO₃ a SNH₄ (vlevo) a mezi denními hodnotami koncentrace NO_x a O₃ (vpravo) na stanici Praha-Libuš v letech 2003-2006.

Pro další zkoumání byly vybrány zmíněné dvě nejvýznamnější škodliviny – oxid síry SO₂ a oxidy dusíku souhrnně označené NO_x. Denní hodnoty koncentrací těchto

látek v ovzduší byly převzaty z měření na deseti vybraných stanicích v České republice. Jejich seznam, průměrné a maximální dosažené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 3.

Tabulka 3. Průměrné a maximální koncentrace SO₂ a NO_x na jednotlivých stanicích v µg/m³.

	Praha Libuš	Praha Riegr. sady	Praha Vršovice	Praha Mlynářka	Hojná Voda
Průměr SO ₂	5,5	6,2	6,5	5,9	2,5
Max. SO ₂	44,0	43,7	43,7	42,4	23,8
Průměr NO _x	37,5	48,3	70,7	85,3	7,2
Max. NO _x	315,5	297,7	455,4	517,9	37,9

	Brno Kroftova	Brno Tuřany	Kladno Město	Ústí n.L. Kočkov	Ostrava Přívoz
Průměr SO ₂	2,8	6,2	9,1	14,2	10,9
Max. SO ₂	48,6	72,8	69,9	171,1	93,7
Průměr NO _x		30,2	32,7	21,8	45,4
Max. NO _x		273,0	231,7	188,6	246,4

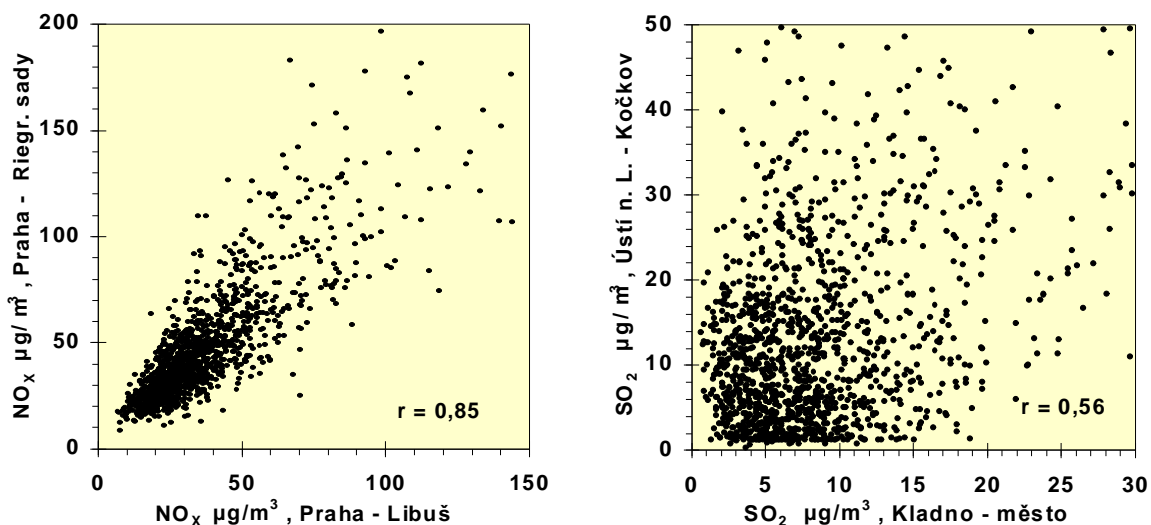
Maximální denní limit pro koncentraci SO₂ je 125 µg/m³, překročený ve zkoumaném období pouze na stanici Ústí n. L.-Kočkov (pro NO_x se denní limit na stránkách

ČHMÚ neuvádí). Hodinové koncentrace mohou být a také často bývají vyšší, proto i limit pro ně je vyšší a je uveden na stránkách ČHMÚ (některé limity jsou různé pro

různé roky v souladu s programem snižování emisí).

Hodnoty uvedené v Tab. 3 názorně demonstrují některé důležité zákonitosti, jimiž se řídí produkce a přenos sledovaných škodlivin. Mezi SO_2 a NO_x jsou v tomto ohledu významné rozdíly. Zdrojem oxidů síry je především spalování uhlí, proto se tyto látky dostávají do ovzduší z komínů, jež jsou obvykle umístěny vysoko nad zemí. Tím je touto škodlivinou zamořeno široké okolí bez velkých rozdílů. Např. v Praze jsou hodnoty koncentrací SO_2 všude skoro stejné, ve velkém parku v centru města, kde by se očekával čistší vzduch, stejně jako ve čtvrti s podílem průmyslu. Také v Tuřanech a v Kočkově, přestože leží obě

lokality na okrajích měst, je koncentrace SO_2 vysoká. Zdrojem oxidů dusíku je naopak tomu jen zčásti spalování fosilních paliv, největší podíl zde má automobilový provoz. Zdroj je nízko nad zemí a už v malé vzdálenosti od frekventovaných silnic koncentrace NO_x klesá. To je vidět např. v Praze v Riegrových sadech i na již zmíněných stanicích v Brně a v Ústí nad Labem. I v jiných městech (Kladno) je automobilový provoz slabší než v Praze a proto i koncentrace NO_x tam je nižší, i když koncentrace SO_2 je vysoká. Bezkonkurenčně nejnižší koncentrace obou škodlivin byly naměřeny v Hojně Vodě v jižních Čechách, daleko od průmyslu a automobilové dopravy.



Obr. 4. Ukázka korelace mezi denními hodnotami koncentrace NO_x na blízkých stanicích (vlevo) a mezi denními hodnotami koncentrace SO_2 na vzdálenějších stanicích (vpravo).

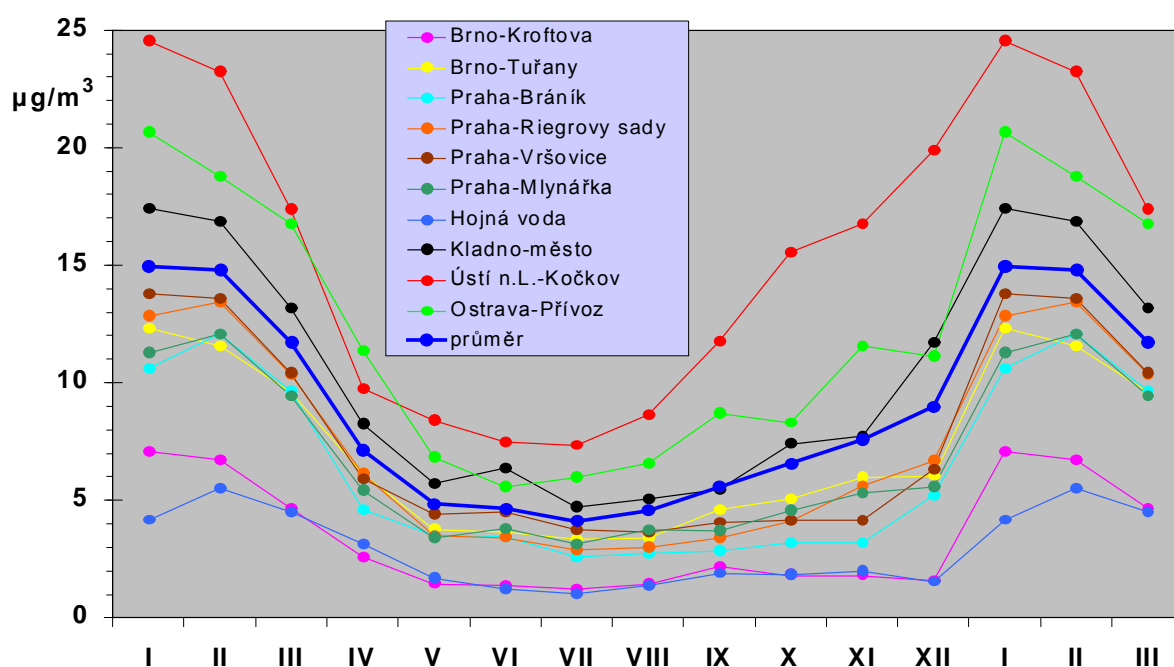
Také zde maximální naměřené hodnoty koncentrací mnohonásobně převyšují hodnoty průměrné (někdy více než desetinásobně). Produkce škodlivin se řídí zákonitostmi, které jsou stejné ve všech regionech. Podmínky šíření a rozptylu však mohou být na různých místech různé. Proto lze očekávat vysokou korelaci mezi hodnotami naměřenými na blízkých stanicích a podstatně menší korelaci pro dvojice stanic vzdálenějších. Tyto vztahy pro dvě vybrané dvojice stanic jsou ukázány na

obr. 4. Celkově jsou tyto korelace pro koncentrace SO_2 vyšší než pro koncentrace NO_x na stejné dvojici stanic právě vzhledem k výše popsanému umístění zdrojů. U všech grafů tohoto typu pozorujeme značný rozptyl mezi zakreslenými body, přestože spočtená hodnota korelačního koeficientu je poměrně vysoká. To proto, že podstatná část bodů leží v malé oblasti grafu, kde jsou hodnoty obou veličin nízké (vlevo dole) a zde se zakreslené body často překrývají, takže je jich ve skutečnosti

více, než je na první pohled vidět. Velký rozptyl je pak u hodnot vysokých. To je způsobeno mimořádnými podmínkami zhoršeného rozptylu, které jsou často omezeny jen na určitou, někdy malou oblast. Mimořádně vysoká hodnota na jedné stanici nemusí znamenat, že na jiné stanici, třeba i blízké, bude naměřena také mimořádně vysoká hodnota.

Koncentrace obou škodlivin se velmi podstatně mění s roční dobou. Výrazné maximum se vyskytuje vždy v zimních měsících. To je dáno jednak zvýšenou produkcí

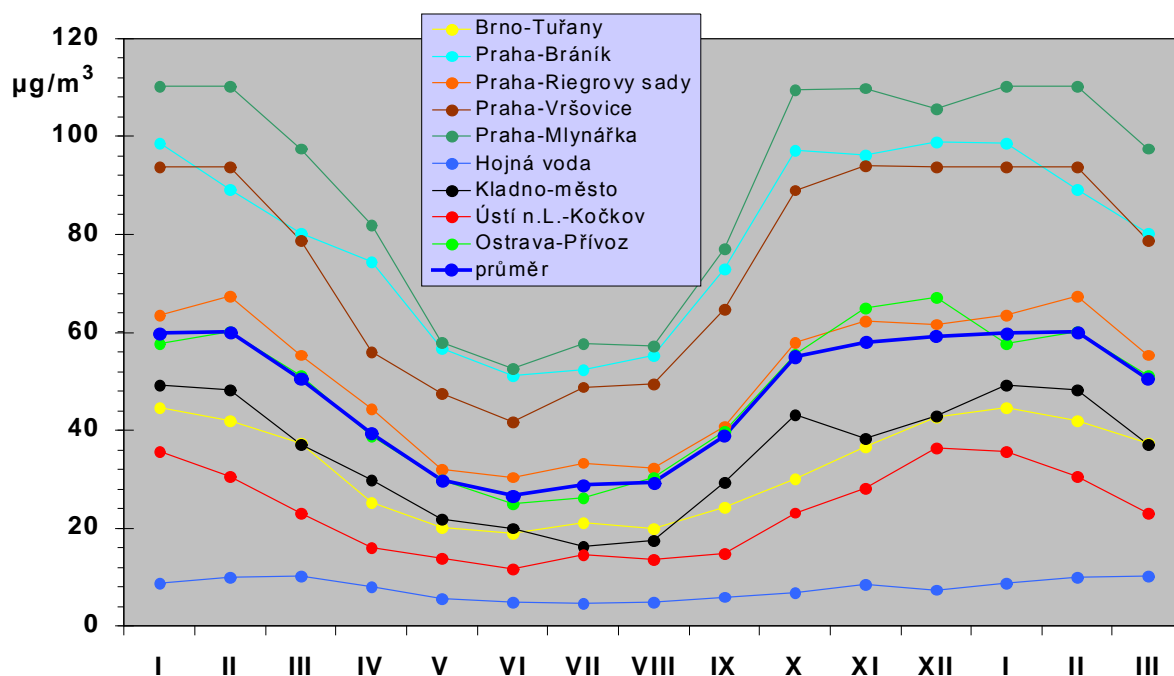
těchto škodlivin v zimě (hlavně SO_2 vzhledem k větší spotřebě uhlí na topení), hlavně však značně zhoršenými rozptylovými podmínkami v témže období. Průměrný roční průběh koncentrace obou látek na všech sledovaných stanicích je uveden na obr. 5 pro SO_2 a na obr. 6 pro NO_x . Na obou obrázcích je také uveden průměr ze všech sledovaných stanic. Průběh je na všech stanicích prakticky shodný a názorně je vidět, jak je křivka pro některé stanice posazena celkově výš než pro jiné, ve shodě s údaji v Tab. 3.



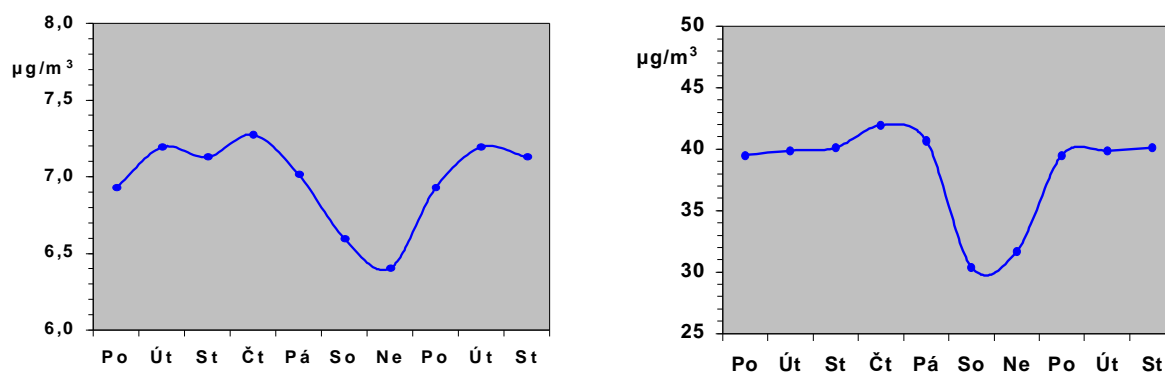
Obr. 5. Roční variace koncentrace SO_2 na vybraných stanicích za období 2003-2006.

Existují však významné rozdíly mezi roční změnou koncentrace SO_2 a koncentrace NO_x . Především pro koncentraci SO_2 je podstatně větší rozdíl mezi zimou a létem než pro koncentraci NO_x , to je dáno právě spalováním uhlí. V prvním případě je na všech stanicích koncentrace v zimě nejméně trojnásobná než v létě, ve druhém případě nejvýše dvojnásobná. Dále u SO_2 je zimní maximum užší – vysoké koncentrace se objevují prakticky jen v lednu a v únoru, v prosinci a březnu jsou již značně nižší a letní minimum od května do září je ploché. Naproti tomu u NO_x trvá zimní maximum od října do února a letní

minimum je kratší, takže průběh zde více připomíná sinusovou křivku než průběh koncentrace SO_2 . U koncentrace NO_x je také velký rozdíl mezi číselnými hodnotami na jednotlivých stanicích, např. na pražských stanicích jsou hodnoty po celý rok až desetinásobné v porovnání s Hojnou Vodou. U koncentrace SO_2 jsou hodnoty na nejzamořenějších stanicích nejvýše pětinásobné v porovnání s nečistšími. Je také rozdíl v tom, na kterých stanicích jsou celkově nejvyšší hodnoty. Pro SO_2 to jsou průmyslové oblasti severních Čech, Ostrava a Kladno, pro NO_x to jsou všechny pražské stanice bez výjimky.



Obr. 6. Roční variace koncentrace NO_x na vybraných stanicích za období 2003-2006.



Obr. 7. Týdenní variace koncentrace SO₂ (vlevo) a NO_x (vpravo) pro průměry z vybraných stanic za období 2003-2006.

U koncentrací škodlivin v ovzduší pozorujeme také významnou týdenní variaci. Graficky jsou ukázány na obr. 7 pro obě látky. Vždy je nápadný pokles koncentrace o víkendech. Opět je však systematický rozdíl mezi koncentrací SO₂ a NO_x. V prvním případě, kdy jde především o průmyslové zdroje, se škodliviny postupně kumulují od pondělí do čtvrtka, v pátek jich však začíná ubývat, v sobotu ještě doznívají a v neděli nastává minimum. Ve

druhém případě, kdy významnější úlohu hraje automobilový provoz a zřejmě rychlejší rozptyl, je kumulace méně výrazná, minimum nastává v sobotu, ale v neděli už koncentrace mírně roste z důvodu hustšího provozu při návratech z víkendových pobytů do měst. Rozdíl mezi hodnotami v pracovní dny a o víkendech je u koncentrací NO_x daleko větší než pro SO₂ – maximum koncentrace SO₂ je větší než minimum asi o 20%, pro NO_x je tento

rozdíl 50%. V porovnání s variací roční je tedy týdenní variace daleko slabší. Na obr. 7 jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty ze všech stanic, protože na jednotlivých stanicích jsou koncentrace číselně mnohem vyšší nebo nižší a jsou mimo měřítka obrázku. Týdenní variace je také skoro stejná v jednotlivých ročních obdobích.

Zákonitosti pravidelných i nepravidelných změn koncentrací škodlivin je třeba brát v úvahu všude, kde se s těmito parametry pracuje. Příkladem může být biometeorologická předpověď běžně publikovaná ve sdělovacích prostředcích. Při jejím sestavování se kromě obvyklých meteorologických faktorů, jako je přechod front, výskyt extrémních teplot vzduchu, náhlé změny tlaku vzduchu, silný vítr apod., berou v úvahu také koncentrace škodlivin v ovzduší. Proto v zimním období, vzhledem k vysokým hodnotám koncentrací

škodlivin, je biometeorologická předpověď dána číslem 2 (střední zátěž) nebo 3 (vysoká zátěž) daleko častěji než v létě, a to i ve dnech, kdy se nevyskytují extrémní teploty ani silný vítr ani změna tlaku vzduchu ani přechod fronty. A právě tyto koncentrace, byť v zimě daleko vyšší než v létě, jsou velmi různé v různých místech ČR. Jak bylo ukázáno např. na obr. 4, vysoké koncentrace v jednom místě nemusí automaticky znamenat, že budou vysoké také v jiných místech, i když je korelace pro data za všechny dny poměrně vysoká. To může být také příčinou, proč korelace mezi předpověděným stupněm zátěže a skutečným výskytem srdečních onemocnění je nečekaně slabá [5]. Je to třeba brát opět jako podporu požadavku, že by předpověď měla vycházet z hodnot pro konkrétní region a nebyť uváděna jako celostátní.

Literatura

- [1] W. Marktl, A. Machalek, 1983: Einfluss meteorologischer Vorgänge auf gesunde und kranke Menschen. Österreichische Gesellschaft für Förderung medizin-meteorologischer Forschung, Wien.
- [2] J. Střeščík, J. Sitar, 1994: Některé souvislosti mezi vybranými heliogeofyzikálními a meteorologickými jevy a kardiovaskulární úmrtností. XVI. seminář „Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí“, sborník referátů, Úpice, 123-127.
- [3] J. Střeščík, J. Sitar, 1999: Možné meteorologické a mimozemské vlivy na výskyt zločinnosti v Jihomoravském kraji. XXI. seminář „Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí“, sborník referátů, Úpice, 194-200.
- [4] Webové stránky http://www.chmi.cz/uoco/isko/tab_roc/tab_roc.html
- [5] J. Sitar, J. Střeščík, 2000: K validitě celostátní biometeorologické předpovědi pro Českou republiku. XIII. bioklimatologická konference SBkS a ČBkS „Bioklimatológia a životné prostredie“, Košice, elektronická publikace, stránky nečíslovány.